
CIRCUITE FOLOSITE ÎN APARATELE ELECTRONICE DE MĂSURAT

- ☐ Introducere
- ☐ Amplificatoare de măsurare
- ☐ Convertoare numeric-analogice
- ☐ Convertoare analog-numerice
- ☐ Circuite pentru condiționarea semnalelor
- ☐ Concluzii



Introduzione

Circuite electronice - blocuri componente ale aparatelor electronice de măsurat

- ☐ prelucrarea semnalelor
- ☐ îmbunătățirea performanțelor
- ☐ creșterea nivelului de precizie
- ☐ interfațarea cu sistemele de calcul (conducerea asistată de calculator a proceselor industriale)



Amplificatoare de măsurare

Amplificatoare

Nivelul semnalelor electrice obținute la ieșirea traductoarelor și a circuitelor de măsurare este de ordinul ($10^{-2} \dots 10^{-12}$) W sau chiar mai mic, ceea ce face necesară amplificarea acestora pentru a putea fi folosite în procesul de măsurare sau ca semnale de comandă.

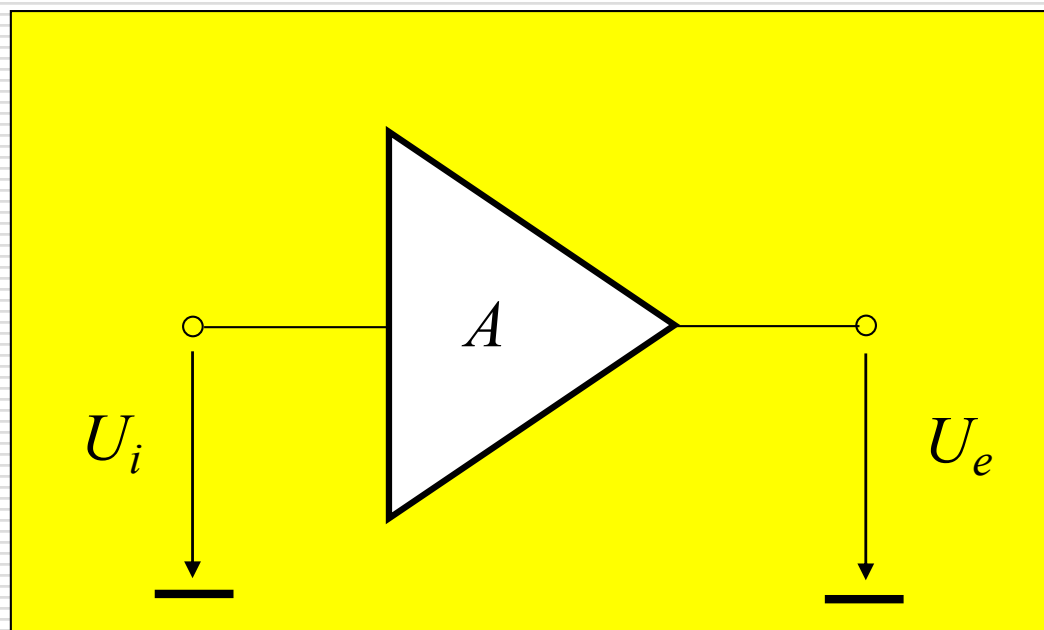
Dispozitivul care realizează creșterea nivelului energetic al semnalului, fără a modifica forma sau structura acestuia se numește *amplificator*.

Principalul parametru al amplificatoarelor este *amplificarea* (sau *câștigul*) definită ca raportul dintre mărimea de ieșire și mărimea de intrare.

Deoarece mărimile de intrare/ieșire pot fi tensiuni, curenți sau puteri rezultă că se pot defini: *amplificarea în tensiune*, *amplificarea în curent* sau *amplificarea în putere*.

În practică, în majoritatea cazurilor, se folosește amplificarea în tensiune, care în continuare va fi numită “amplificare”.

Amplificator – simbolul și amplificarea



$$A = \frac{U_e}{U_i}$$

$$A[dB] = 20 \log \frac{U_e}{U_i}$$

Amplificatoare de măsurare

Exemple

$$A=100$$

$$A_{\text{dB}}=40 \text{ dB}$$

$$A=1000$$

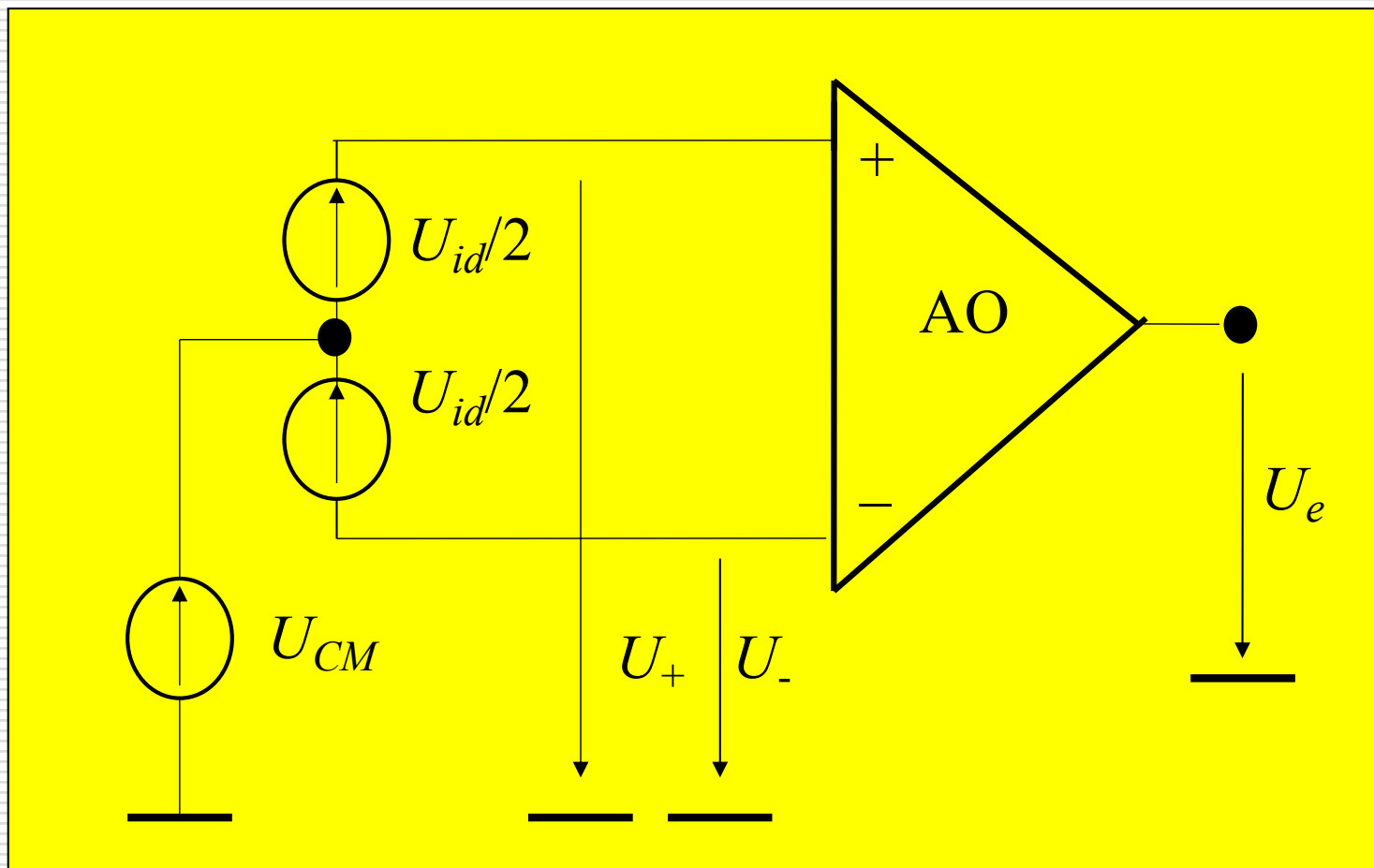
$$A_{\text{dB}}=60 \text{ dB}$$

$$A=100.000$$

$$A_{\text{dB}}=100 \text{ dB}$$

Amplificatoare de măsurare

Reducerea influenței semnalelor perturbatoare ce au o bornă la masă - *amplificatoare diferențiale*.



Tensiunea de intrare diferențială

$$U_{id} = U_{+} - U_{-}$$

Tensiunea de intrare de mod comun

$$U_{CM} = \frac{U_{+} + U_{-}}{2}$$

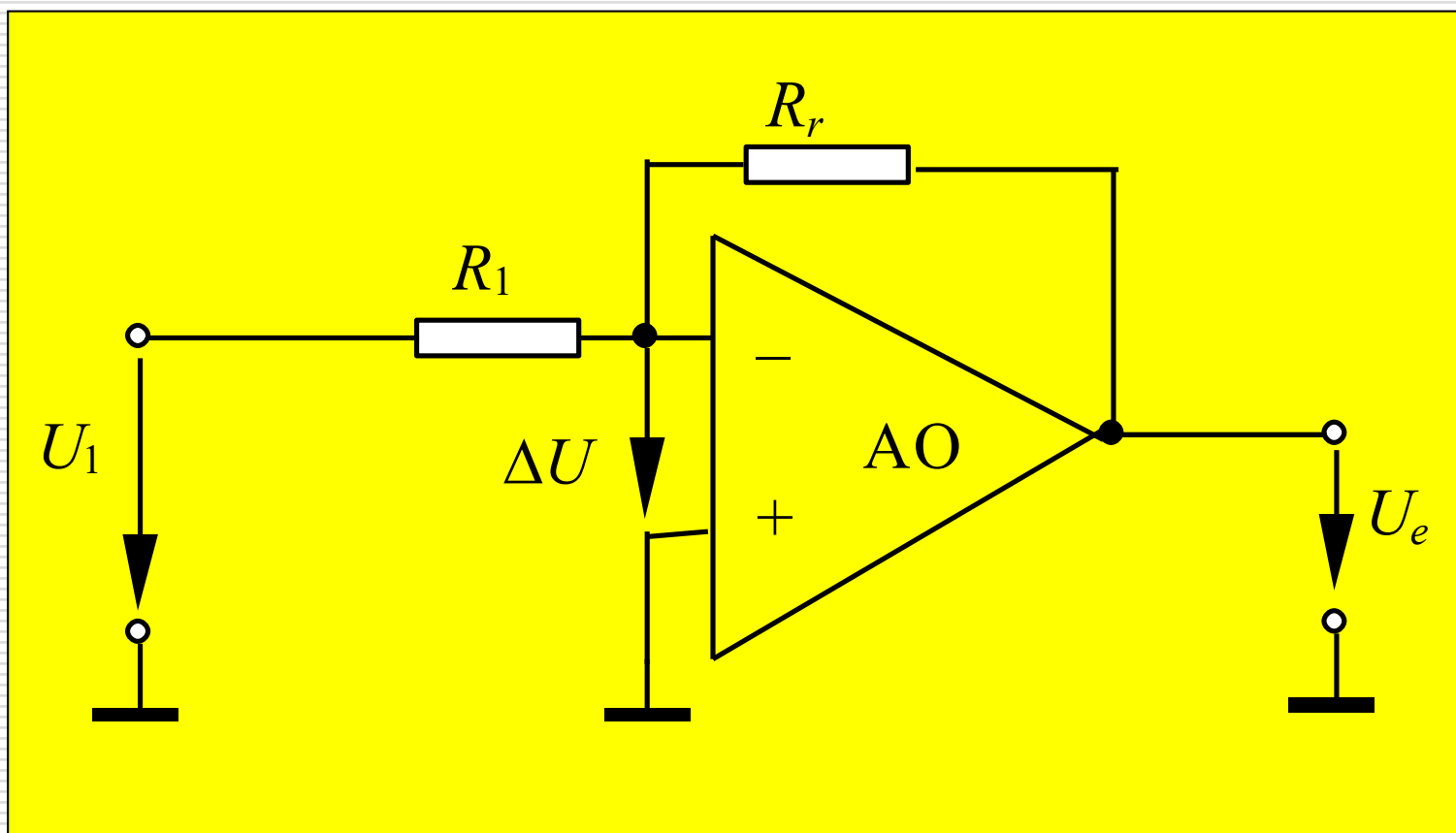
Amplificatorul operațional

Amplificatorul operațional ideal - concept util

- ☐ amplificare diferențială infinită
- ☐ amplificare de mod comun nulă
- ☐ impedanță de intrare infinită
- ☐ impedanță de ieșire nulă

Amplificatorul operațional - configurații de bază

- amplificatorul inversor



Amplificatorul inversor

- amplificarea cu reacție

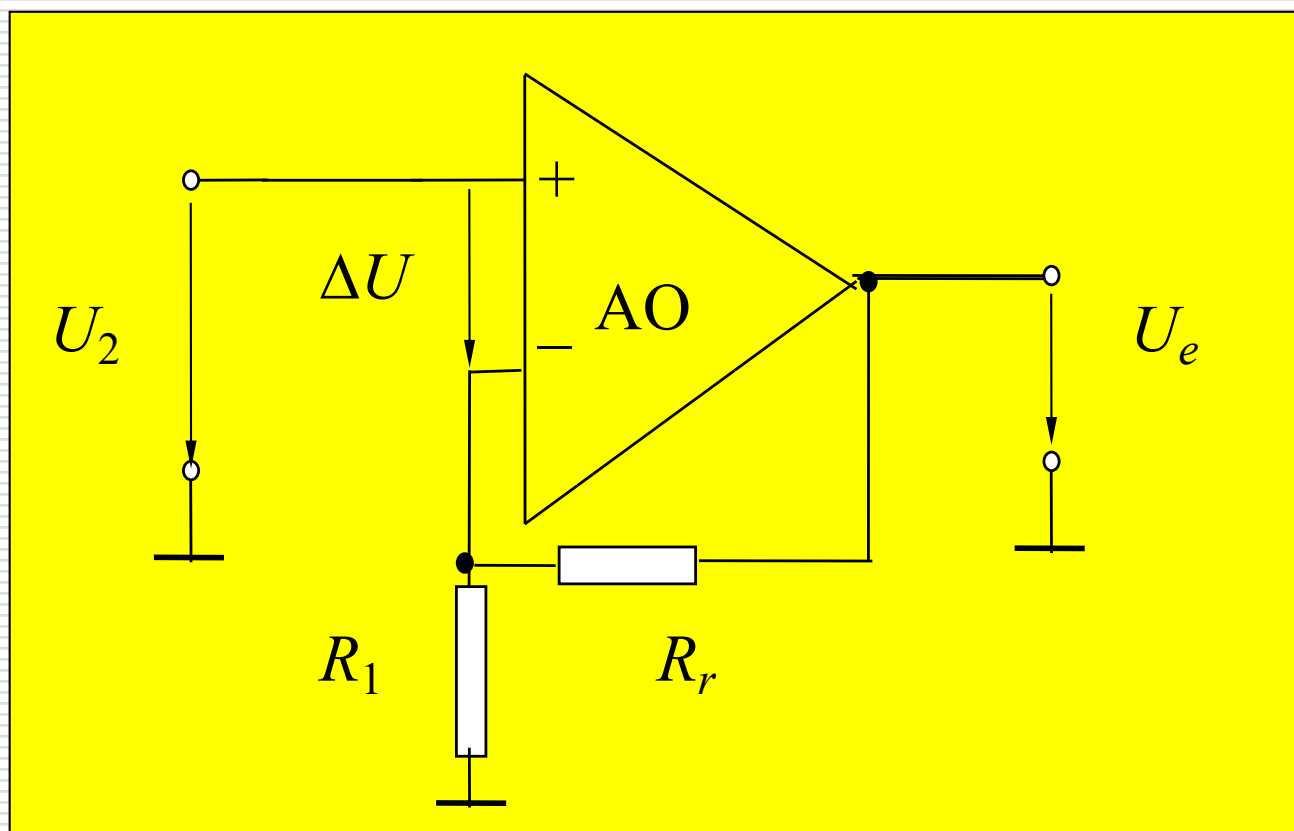
$$A = \frac{U_e}{U_1} = -\frac{R_r}{R_1}$$

- rezistența de intrare

$$R_i = R_1$$

Amplificatorul operațional - configurații de bază

- amplificatorul neinversor



Amplificatorul neinversor

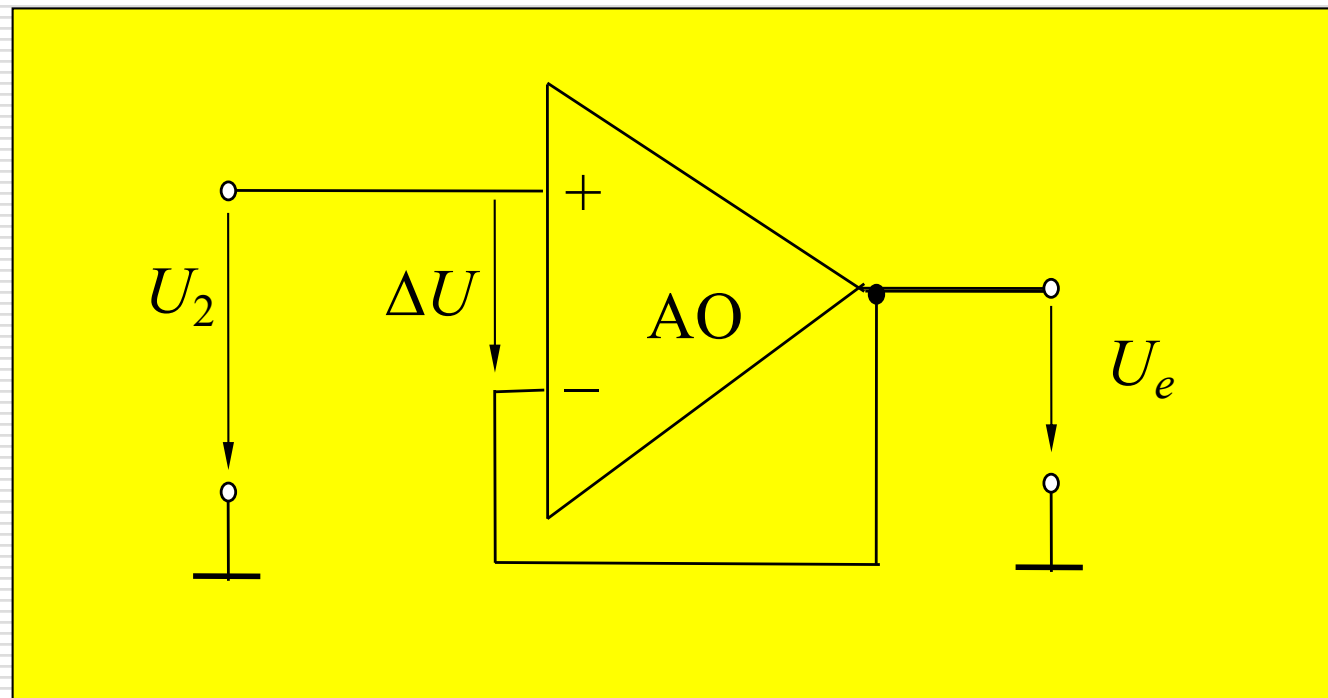
- amplificarea cu reacție

$$A = \frac{U_e}{U_2} = 1 + \frac{R_r}{R_1}$$

- rezistența de intrare - foarte mare

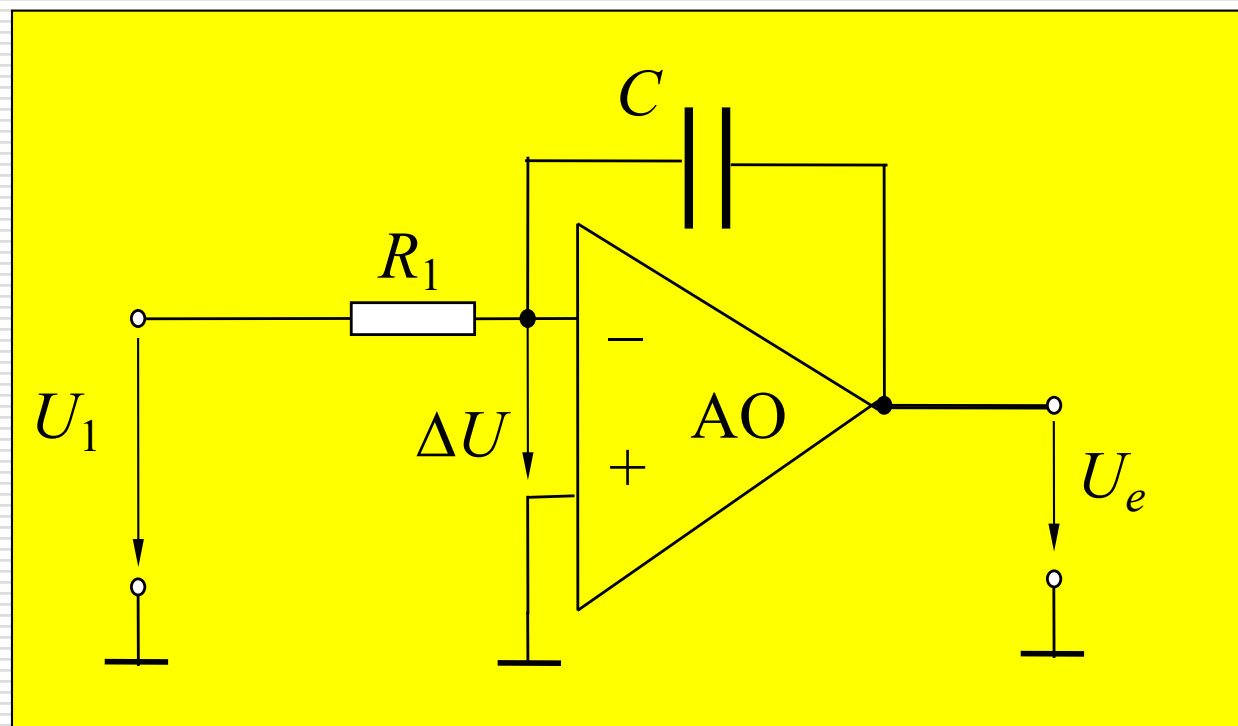
Amplificatorul operațional - configurații de bază

- repetorul - caz particular de amplificator neinversor



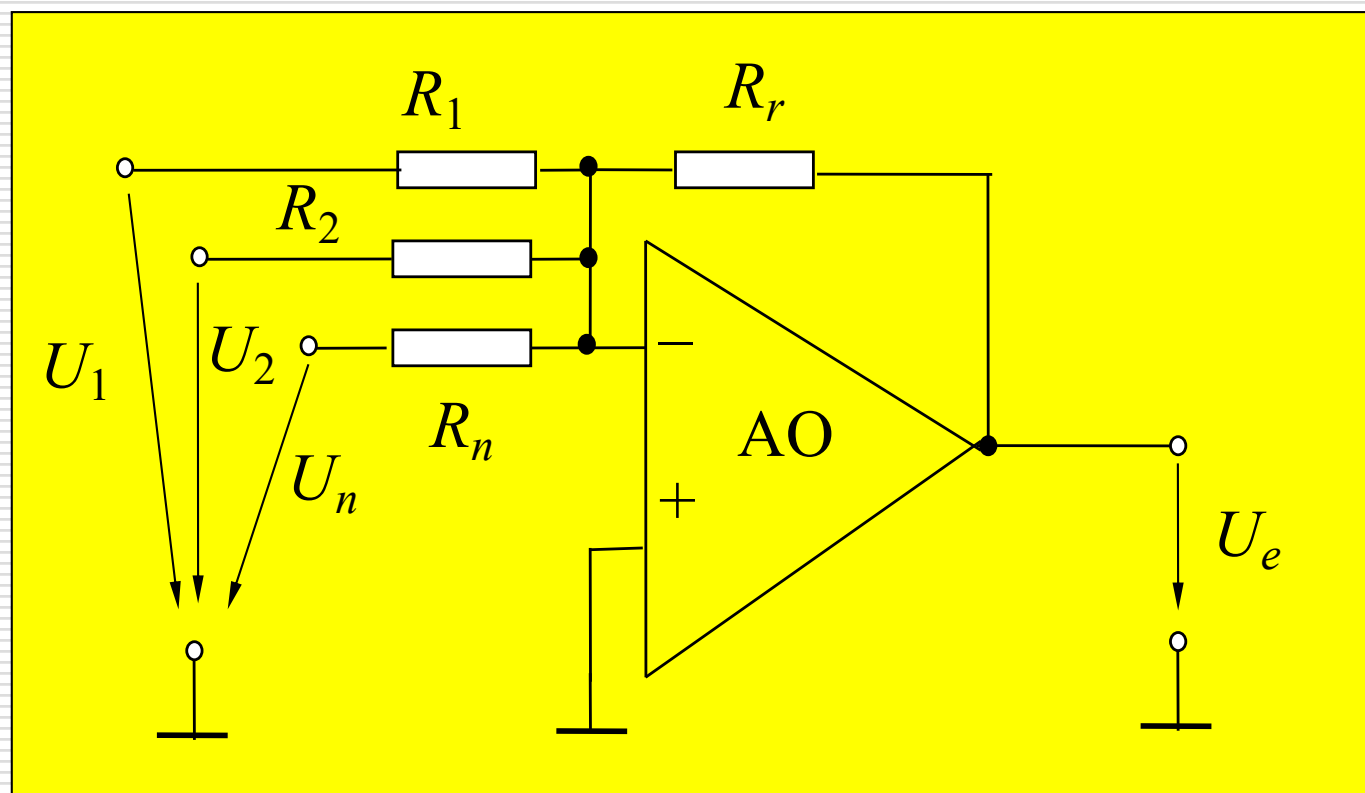
Amplificatorul operațional – configurații de bază

- integratorul



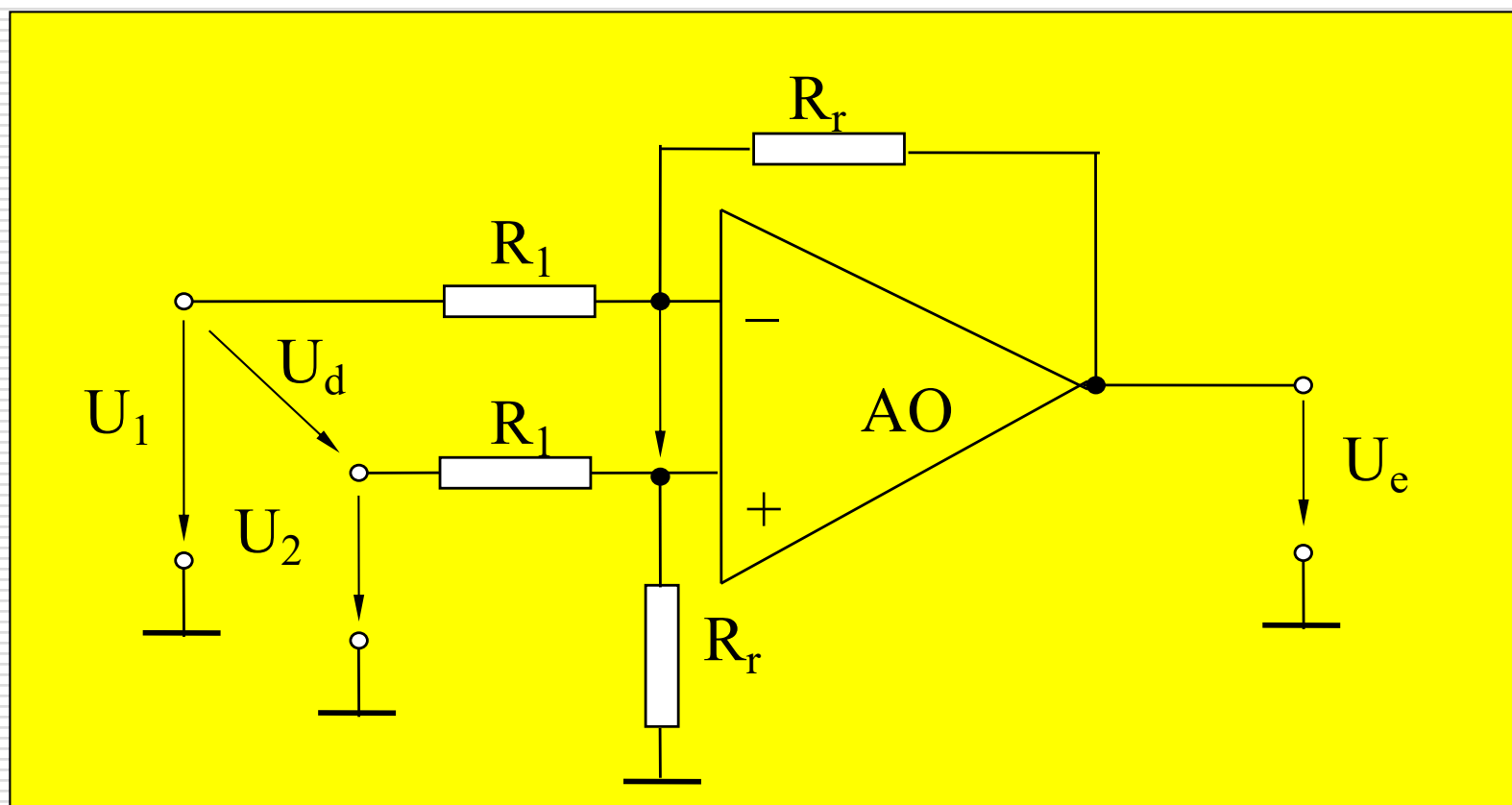
Amplificatorul operațional – configurații de bază

□ sumatorul

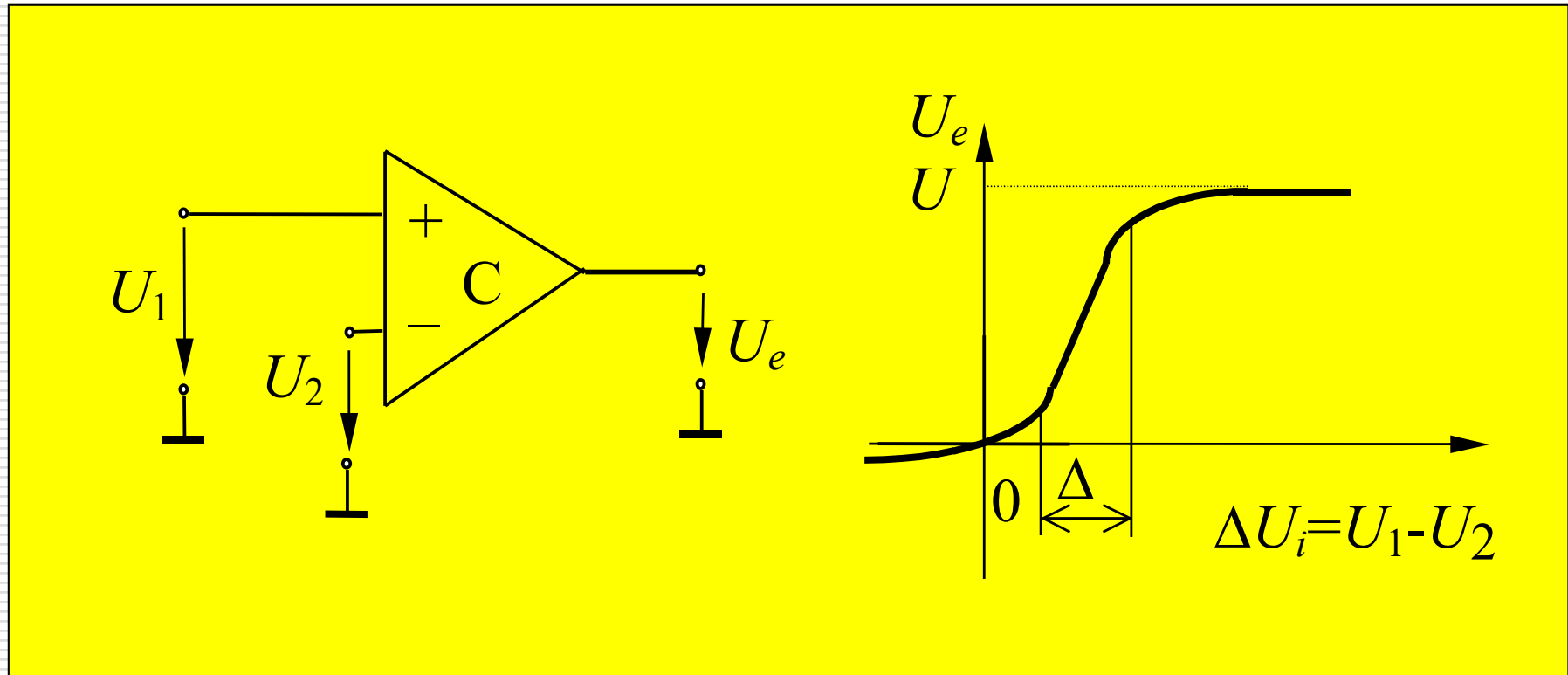


Amplificatorul operațional – configurații de bază

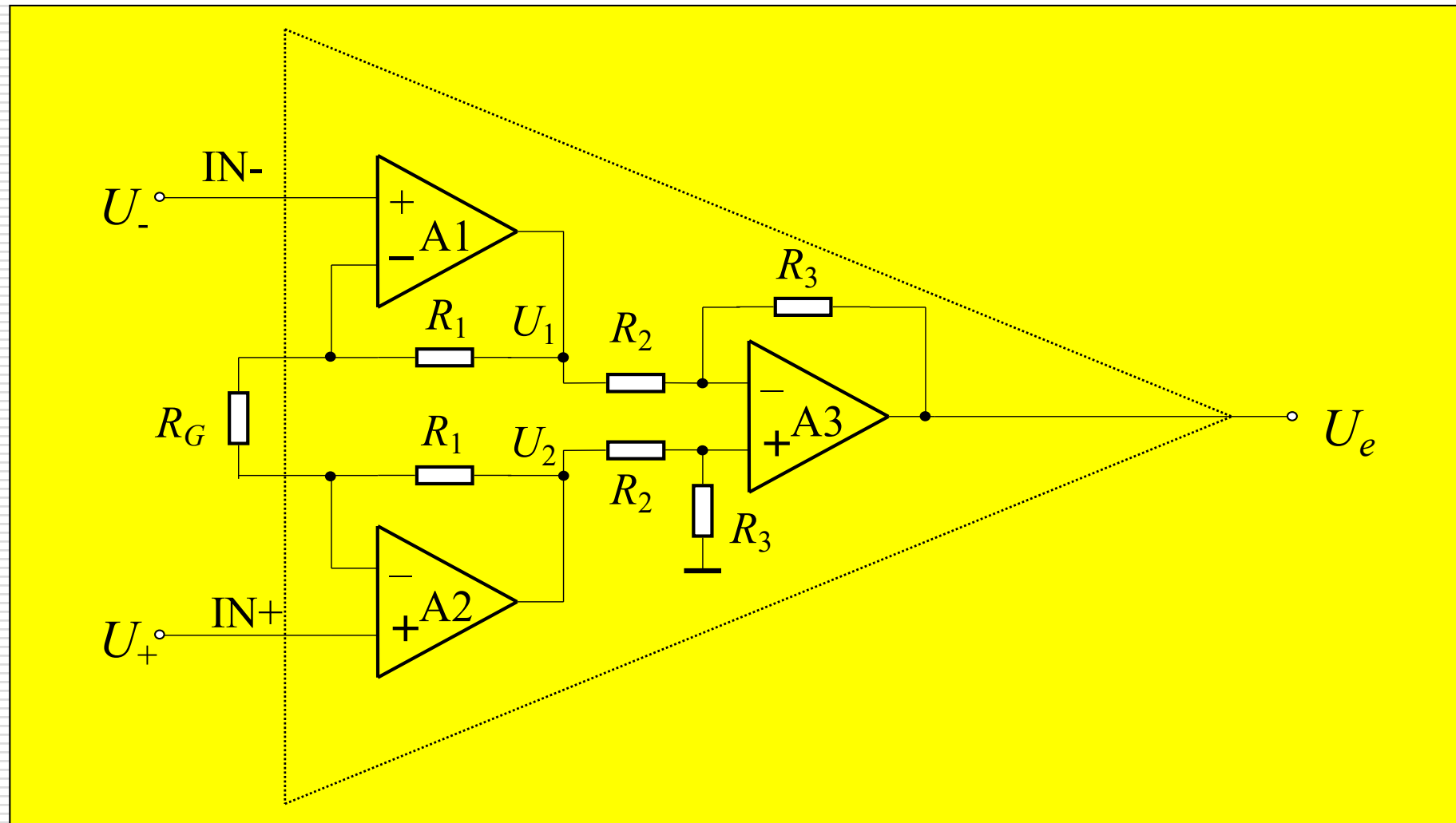
- amplificatorul diferențial



Comparatorul



Amplificatoare instrumentale



Amplificatoare instrumentale - relații

$$U_e = A_d U_d$$

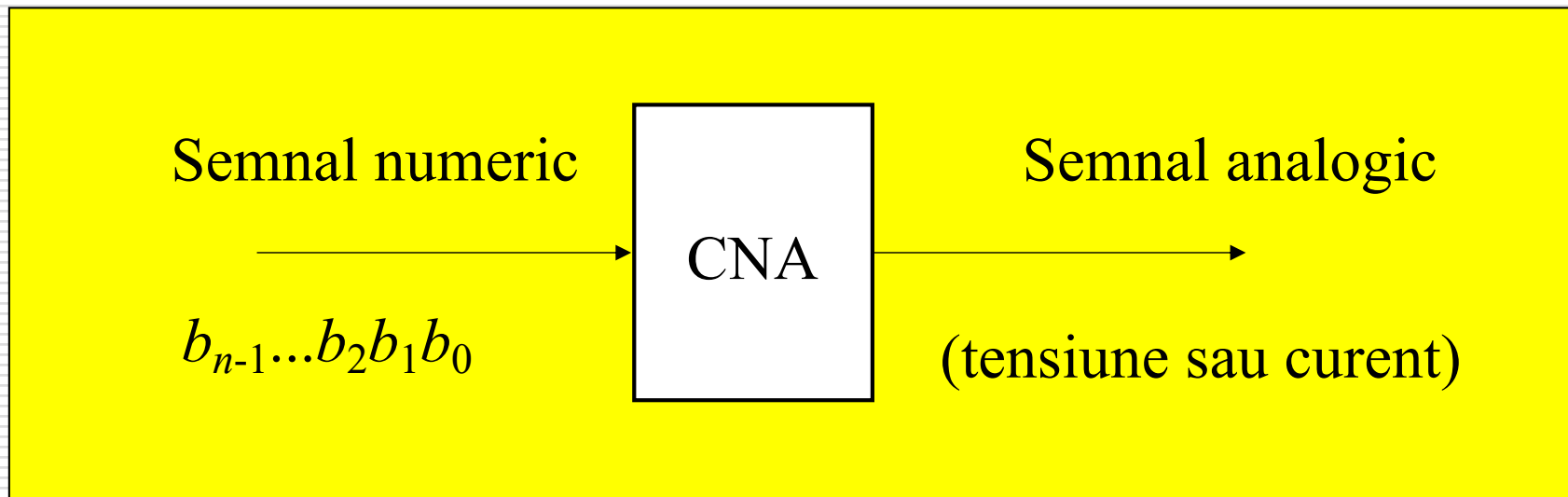
$$U_e = A_d \left(U_d + U_{os} + \frac{U_{CM}}{CMRR} \right)$$



Convertoare numeric-analogice

Convertoare numeric-analogice

Un convertor numeric-analogic (CNA) este un circuit care transformă un semnal numeric într-unul analogic.



CNA - caracteristici

- CNA
- *unipolare* (mărimea de ieșire poate avea o singură polaritate)
 - *bipolare* (mărimea de ieșire poate avea ambele polarități)

Codul semnalului de intrare

- codul binar natural
- codul binar deplasat
- codul complement față de 1
- codul complement față de 2
- codul amplitudine-semn.

Codul binar natural

Valoarea zecimală D a secvenței de intrare:

$$D = \sum_{i=0}^{n-1} b_i \cdot 2^i$$

Exemplu. Valoarea zecimală a secvenței 1000 1010 este:

$$D = 1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 128 + 8 + 2 = 138$$

CNA - caracteristici

- ☐ intervalul de variație a mărimii de ieșire
- ☐ rezoluția
- ☐ caracteristica de transfer statică
- ☐ precizia
- ☐ timpul de stabilizare (de răspuns)

CNA - caracteristici

Intervalul de variație a mărimii de ieșire, FSR (engl. Full Scale Range):

- valoarea maximă a mărimii de ieșire în cazul CNA unipolare (FSR)
- $\pm FSR/2$ în cazul CNA bipolare.

Valori uzuale:

2 mA pentru CNA cu ieșire în curent

5 V, 10 V, $\pm 2,5$ V sau ± 5 V pentru CNA cu ieșire în tensiune.

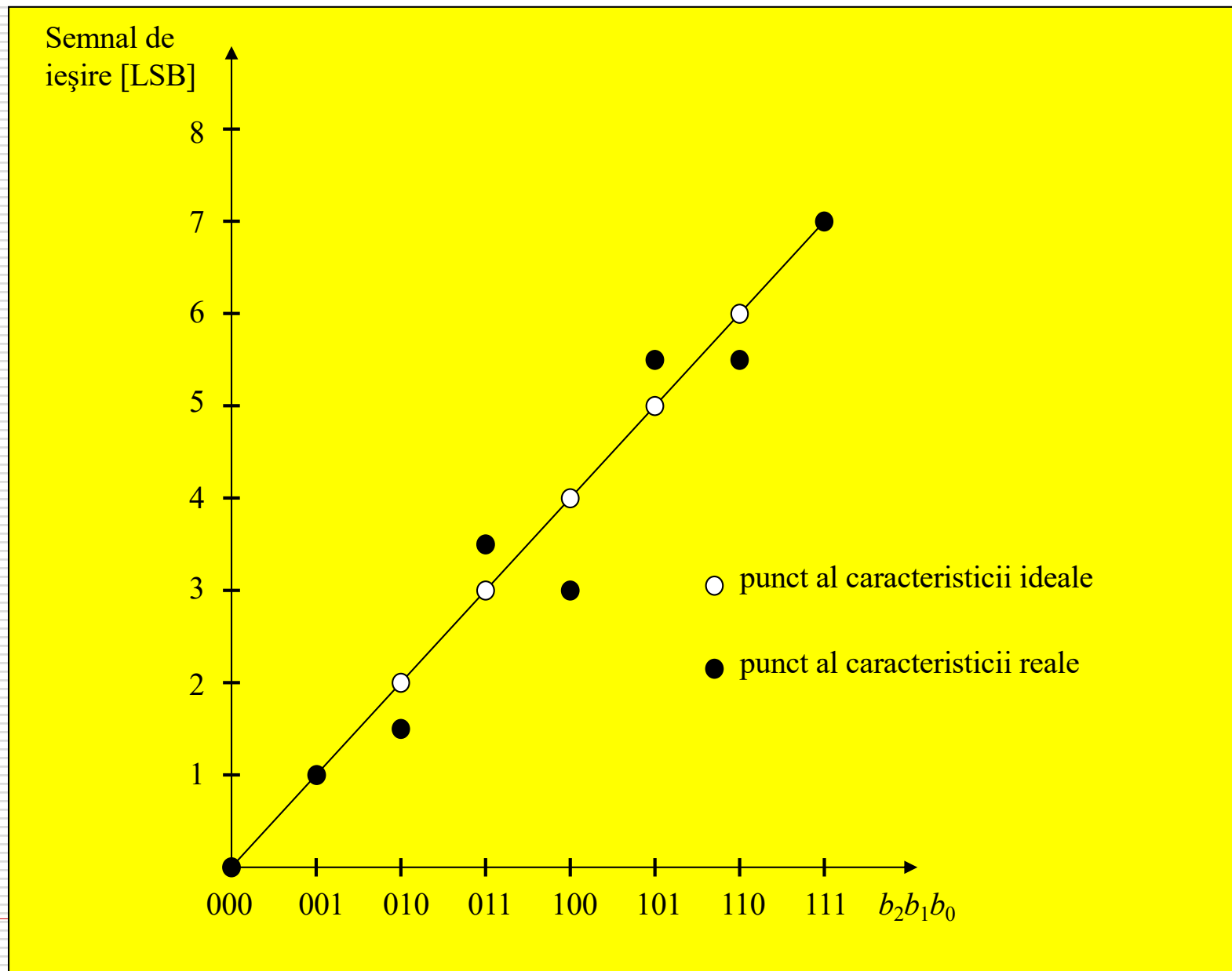
CNA - caracteristici

Rezoluția (sau *cuanta*) unui CNA este de 1 LSB. Valoarea corespunzătoare a semnalului de ieșire este:

$$1 \text{ LSB} = \frac{FSR}{2^n}$$

Exemplu. Un CNA de 10 biți are $FSR = 10,24 \text{ V}$. Rezoluția sa este $10,24 \text{ V} / 2^{10} = 10 \text{ mV}$.

Convertoare numeric-analogice



CNA – caracteristici

Precizia unui CNA - determinată de

- ☐ erori de zero
- ☐ erori de proporționalitate (câștig)
- ☐ erori de neliniaritate.

Erorile de zero și de proporționalitate pot fi eliminate prin reglaje corespunzătoare.

Pentru caracterizarea erorilor de neliniaritate se definesc noțiunile de *neliniaritate integrală* și *neliniaritate diferențială*.

CNA - caracteristici

Neliniaritatea integrală (INL) a unui CNA reprezintă valoarea maximă a abaterii caracteristicii reale față de cea ideală (se presupune că erorile de zero și de câștig au fost eliminate).

De exemplu, pentru un CNA având specificată o neliniaritate integrală $INL = \pm 1/2 \text{ LSB}$, valoarea semnalului de ieșire nu va diferi cu mai mult de $\pm 1/2 \text{ LSB}$ față de valoarea ideală corespunzătoare.

CNA - caracteristici

Nelineiaritatea diferențială (DNL) a unui CNA reprezintă diferența maximă dintre valorile semnalului de ieșire corespunzătoare la două valori adiacente ale semnalului de intrare, diferență din care se scade 1 LSB.

CNA - caracteristici

Timpul de răspuns al unui CNA, numit *timp de stabilizare*, este definit ca intervalul de timp scurs de la comutarea simultană din 0 în 1 a tuturor biților b_i , până la intrarea definitivă a semnalului de ieșire între limitele $FSR - 1\text{LSB} \pm 0,5 \text{LSB}$.

Aplicație

Să se determine valorile ideale ale tensiunii de la ieșirea unui CNA cu $n = 10$ biți și $FSR = 10\text{ V}$ pentru codurile de intrare $D_1 = 0000001010$ și $D_2 = 1000000000$.

$$1\text{ LSB} = \frac{FSR}{2^n} = \frac{10\text{ V}}{2^{10}} = \frac{10\text{ V}}{1024} \cong 9.77\text{ mV}$$

$$U_1 = D_1 \times 1\text{ LSB} = 10 \times 9.77\text{ mV} = 97.7\text{ mV}$$

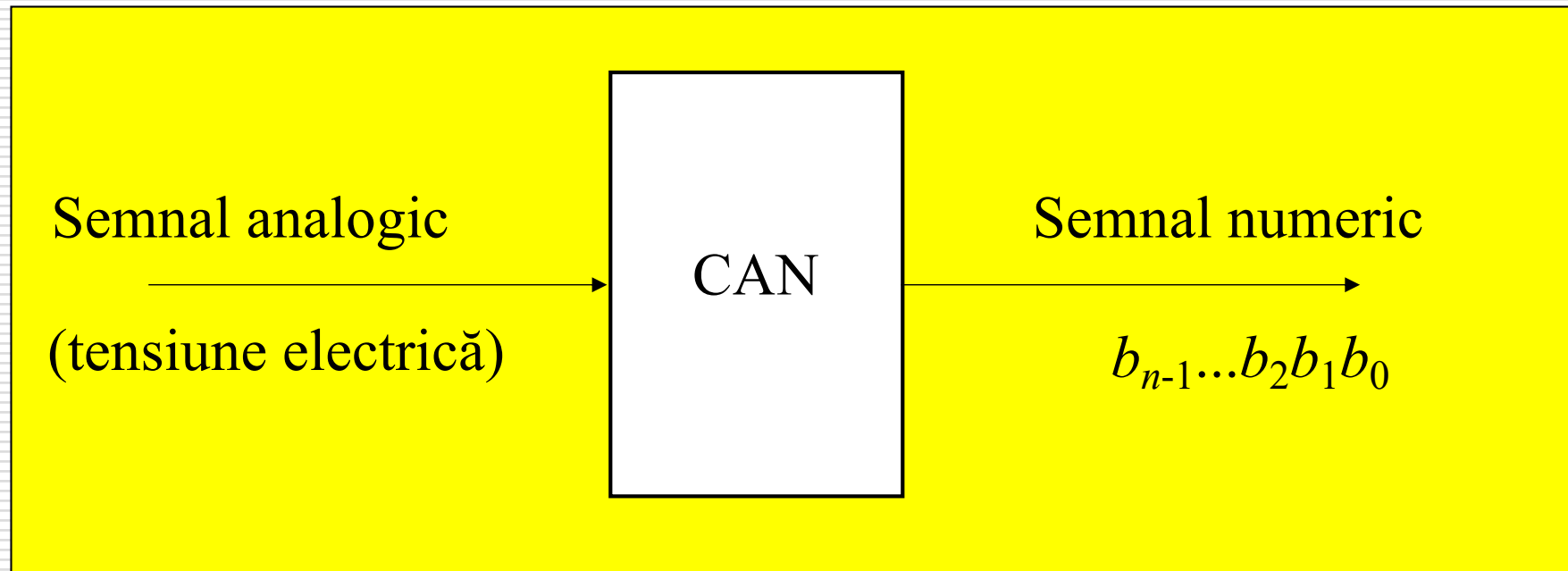
$$U_2 = D_2 \times 1\text{ LSB} = 512 \times 9.77\text{ mV} = 5002.2\text{ mV} = 5.0022\text{ V}$$



Convertoare analog-numerice

Convertoare analog-numerice

Un convertor analog-numeric (CAN) este un circuit care transformă un semnal analogic într-unul numeric.



CAN - caracteristici

CAN - *unipolare* (tensiunea de intrare poate avea o singură polaritate)
- *bipolare* (tensiunea de intrare poate avea ambele polarități).

Codul semnalului de ieșire

codul binar natural

codul binar deplasat

codul complement față de 1

codul complement față de 2

codul amplitudine-semn etc.

CAN - caracteristici

- ☐ intervalul de variație a tensiunii de intrare
- ☐ rezoluția
- ☐ caracteristica de transfer statică
- ☐ precizia
- ☐ timpul de conversie

CAN - caracteristici

Intervalul de variație a tensiunii de intrare, FSR (engl. Full Scale Range):

- valoarea maximă a tensiunii de intrare în cazul CAN unipolare (FSR)
- $\pm FSR/2$ în cazul CAN bipolare.

Valori uzuale: 5 V, 10 V, $\pm 2,5$ V sau ± 5 V.

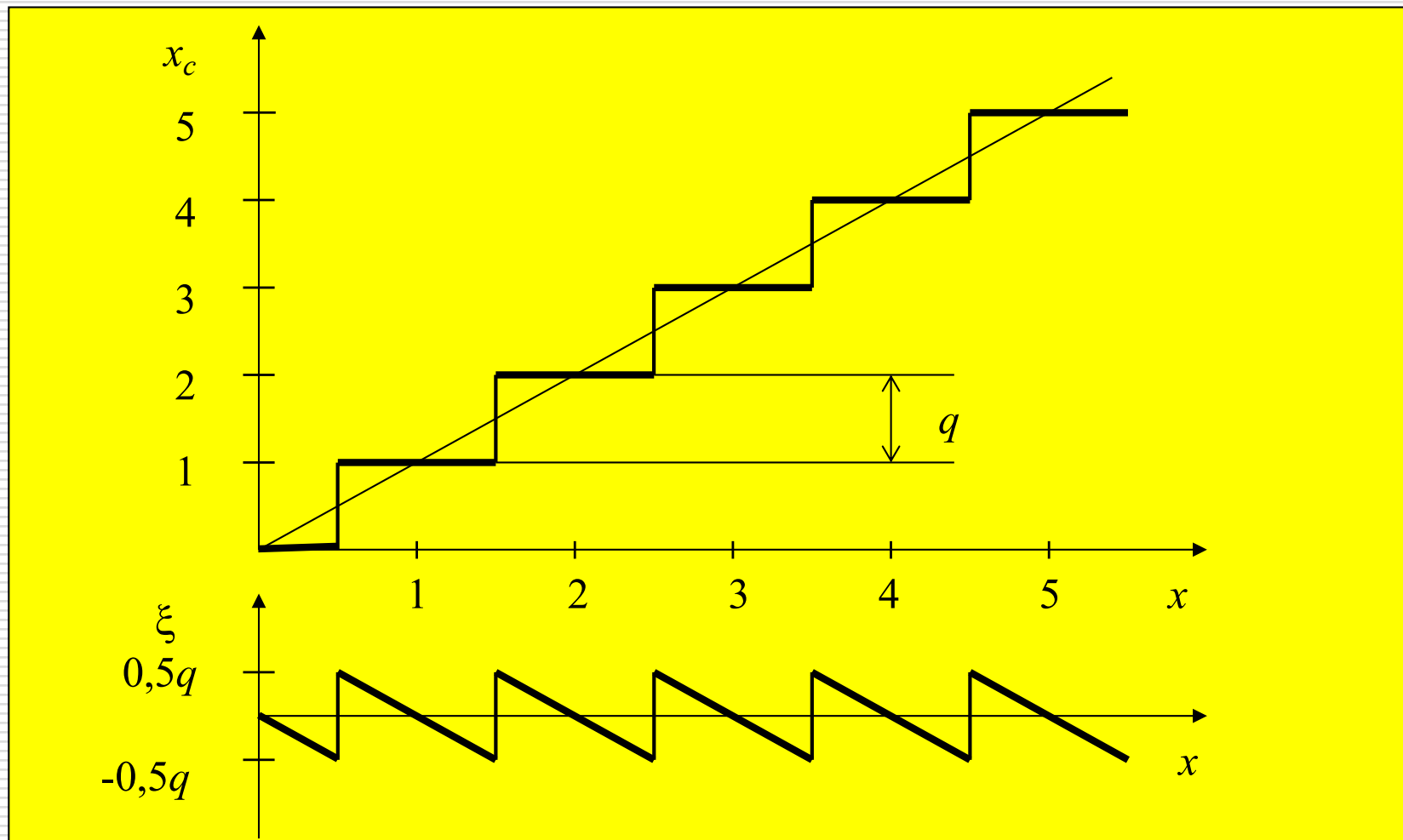
CAN - caracteristici

Rezoluția (sau *cuanta*) unui CAN este de 1 LSB. Valoarea corespunzătoare a tensiunii de intrare este:

$$1 \text{ LSB} = \frac{FSR}{2^n}$$

Exemplu. Un CAN de 10 biți are $FSR=10 \text{ V}$. Rezoluția sa este $10 \text{ V}/2^{10} = 9,77 \text{ mV}$.

CAN - caracteristici



CAN - caracteristici

Neliniaritatea integrală și neliniaritatea diferențială au definiții asemănătoare cu cele de la CNA.

Monotonicitatea unui CAN este caracterizată de lipsa codurilor omise (engl. *no missing codes*).

CAN - caracteristici

Timpul de conversie al unui CAN reprezintă intervalul dintre momentul declanșării unui proces de conversie și momentul stabilizării secvenței binare de ieșire corespunzătoare rezultatului conversiei.

Rata de conversie - numărul maxim de conversii ce pot fi efectuate într-o secundă.

Rata de conversie se exprimă în conv/s (în engleză *samples per second*, simbol Sa/s).

Exemplu. Un CAN cu rata de conversie 1,25 MSa/s poate efectua 1 250 000 conversii pe secundă.

Tipuri de CAN

- directe

 - paralel

 - serie-paralel

 - cu aproximații succesive

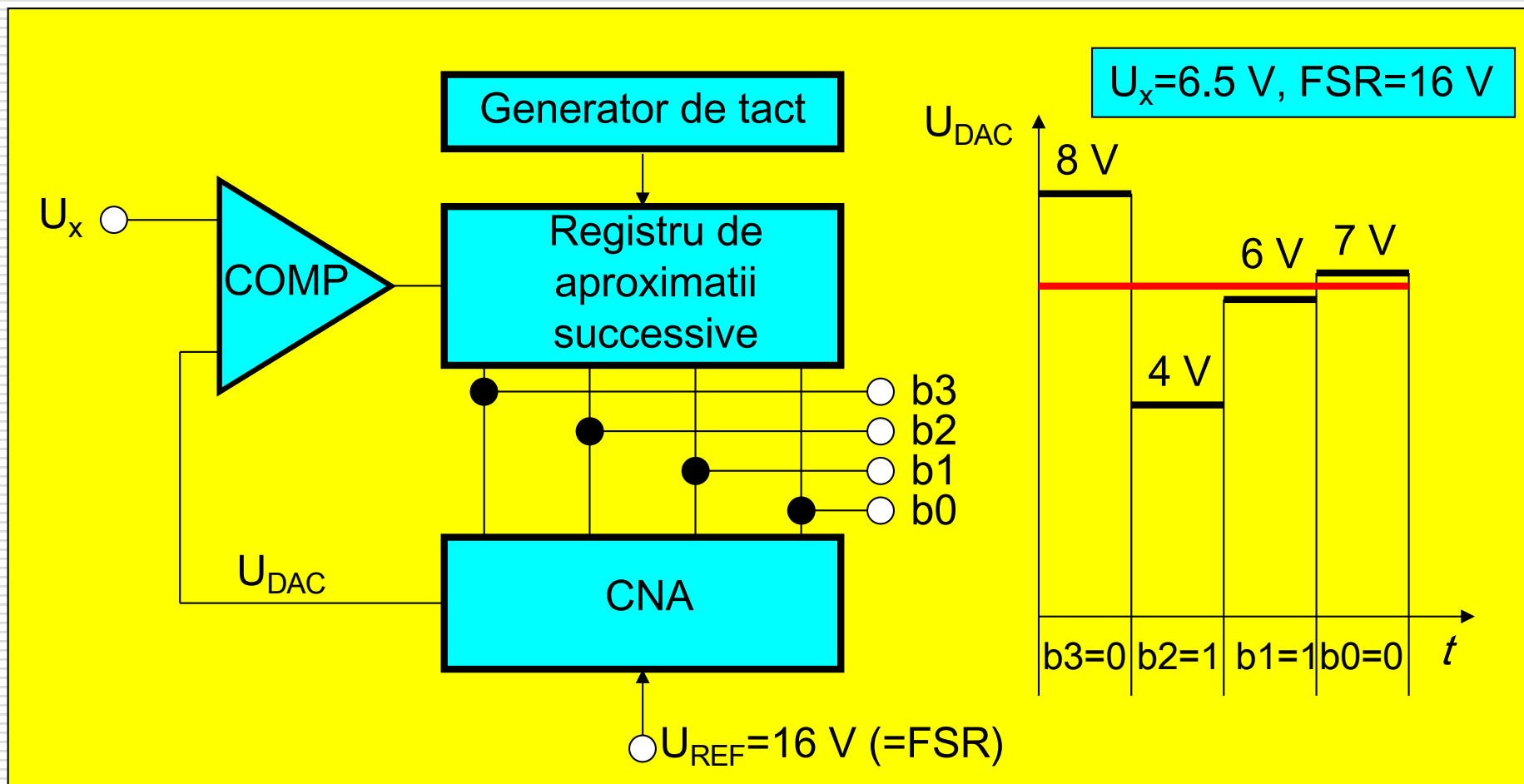
 - Σ - Δ

- indirecte

 - cu integrare (cu dublă integrare)

 - cu convertor tensiune-frecvență

CAN cu aproximații succesive



CAN cu aproximații succesive. Exemplu: $U_x = 6.5 \text{ V}$, $\text{FSR} = 16 \text{ V}$.

Pasul 1: b_3 (MSB) este pus pe 1; $U_{\text{DAC}} = \text{FSR}/2 = 8 \text{ V}$;

Intrucât $U_x < U_{\text{DAC}}$, b_3 este repus pe 0.

Pasul 2: b_2 este pus pe 1; $U_{\text{DAC}} = b_3 \times \text{FSR}/2 + \text{FSR}/4 = 4 \text{ V}$; Intrucât $U_x > U_{\text{DAC}}$, b_2 rămâne 1.

Pasul 3: b_1 este pus pe 1; $U_{\text{DAC}} = b_3 \times \text{FSR}/2 + b_2 \times \text{FSR}/4 + \text{FSR}/8 = 6 \text{ V}$;
Intrucât $U_x > U_{\text{DAC}}$, b_1 rămâne 1.

Pasul 4: b_0 este pus pe 1; $U_{\text{DAC}} = b_3 \times \text{FSR}/2 + b_2 \times \text{FSR}/4 + b_1 \times \text{FSR}/8 + \text{FSR}/16 = 7 \text{ V}$; Intrucât $U_x < U_{\text{DAC}}$, b_0 este repus pe 0.

Rezultatul conversiei: $b_3=0$, $b_2=1$, $b_1=1$ și $b_0=0$ (0110).

CAN cu aproximații succesive - caracteristici

- precizia convertorului determinată de precizia CNA și a comparatorului C
- timpul de conversie - proporțional cu numărul de biți ($T_c = nT_0$, unde T_0 reprezintă perioada semnalului de tact).

Performanțe actuale

- rezoluție 8-16 biți
- timp de conversie 1-10 μs .



Circuite pentru condiționarea semnalelor

Condiționarea semnalelor = adaptarea între traductorul de măsurare și circuitele de conversie analog-numerică.

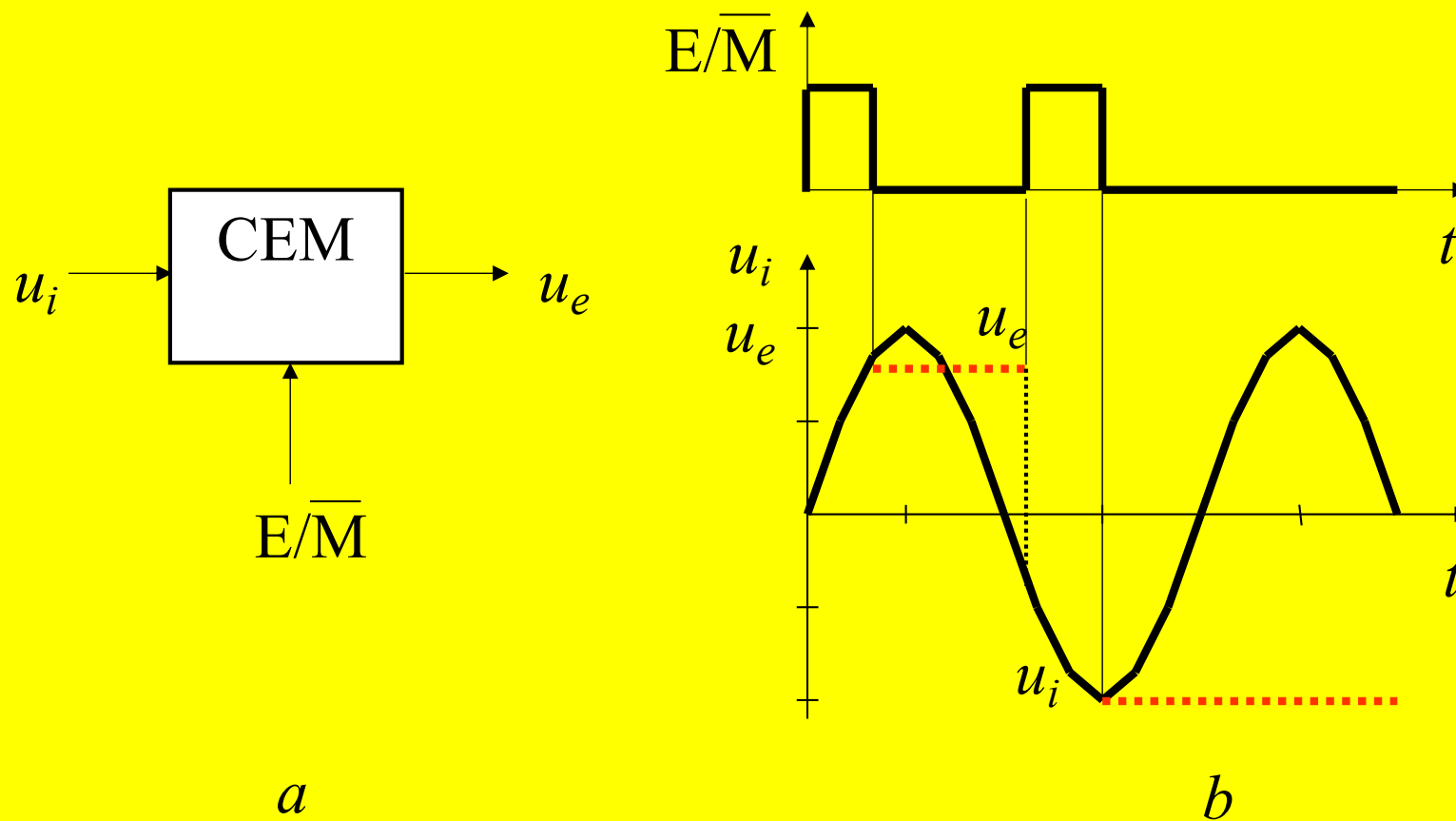
- ☐ conversia semnalului electric de la ieșirea traductorului într-un alt semnal electric
- ☐ atenuarea sau amplificarea semnalului
- ☐ filtrarea semnalului
- ☐ eșantionarea și memorarea semnalului
- ☐ izolarea electrică (separarea galvanică)
- ☐ protecția părții electrice împotriva efectelor conectării greșite sau împotriva descărcărilor electrice.

Circuite de eșantionare și memorare

- ❑ realizează prelevarea unei valori instantanee a unei tensiuni și memorarea acestei valori
- ❑ funcționarea circuitului este comandată, de regulă, de un semnal binar, notat cu E/M
- ❑ dacă $E/M = "1"$, circuitul eșantionează tensiunea de intrare (tensiunea de ieșire o urmărește pe cea de intrare)
- ❑ dacă $E/M = "0"$, circuitul trece în faza de memorare, tensiunea de ieșire rămânând nemodificată.

Circuite pentru condiționarea semnalelor

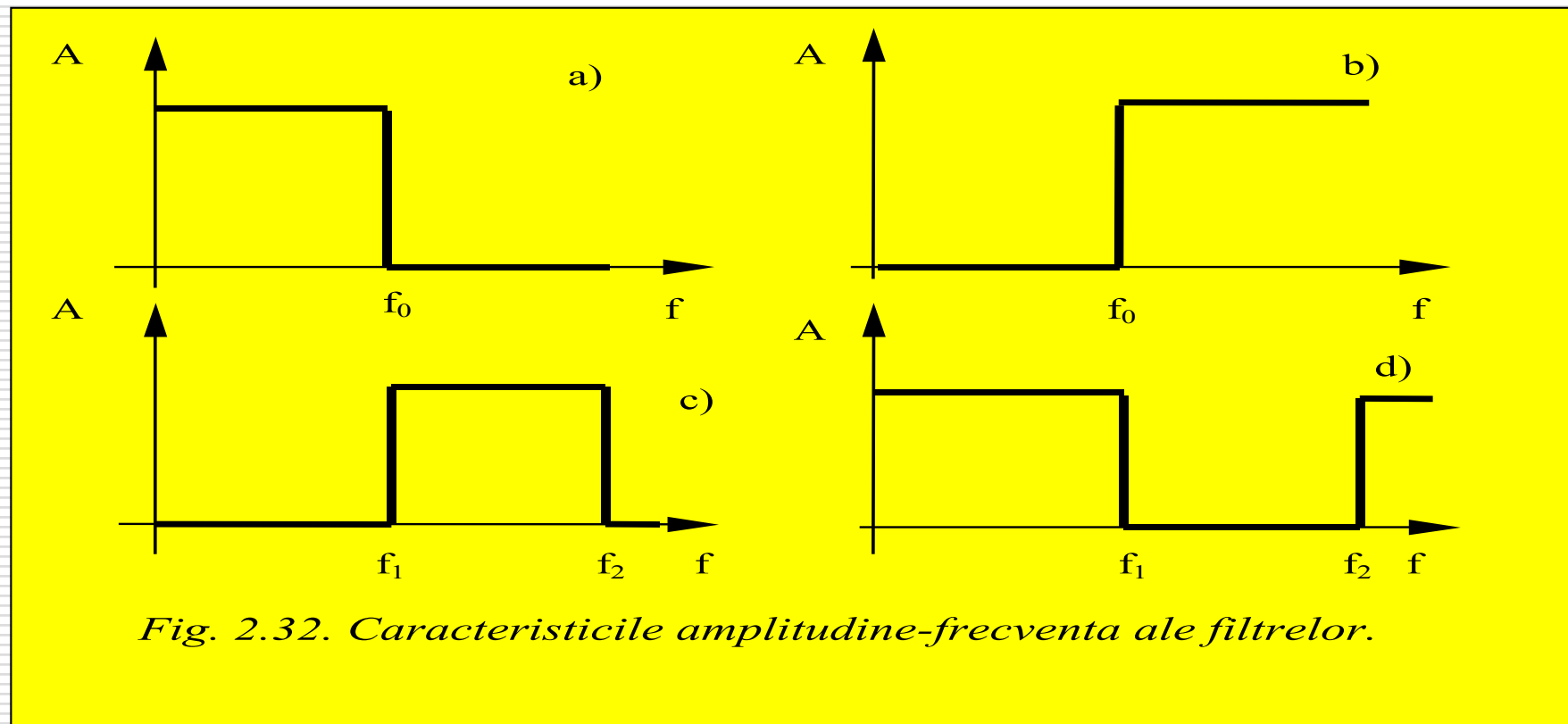
Circuite de eșantionare și memorare



Filtre

Prin *filtru* se înțelege acel circuit care are rolul de a prelucra în mod diferențiat semnalele dintr-o bandă de frecvențe în comparație cu cele din afara benzii. De regulă, filtrele "lasă să treacă" sau "opresc" semnalele dintr-o bandă de frecvențe, "oprind" sau "lăsând să treacă" semnalele din afara benzii.

Filtre



Filtre – clasificare

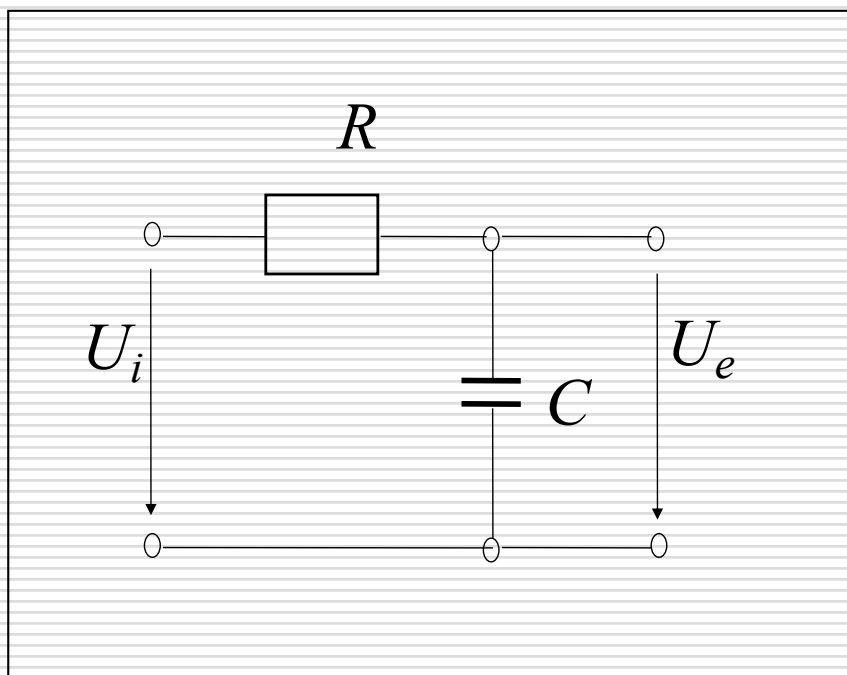
- ☐ pasive – cu componente pasive (R , L , C)
- ☐ active – conțin și elemente de amplificare (performanțe superioare)
- ☐ numerice – prelucrarea numerică a eșantioanelor semnalului

Filtre *trece jos*

- importanță deosebită în sistemele de achiziție de date (limitarea benzii de frecvențe a semnalelor de măsurat în vederea eliminării erorilor de aliere ce apar în procesul de eșantionare).

Filtre *trece jos*

Cel mai simplu - filtrul pasiv RC cu o celulă

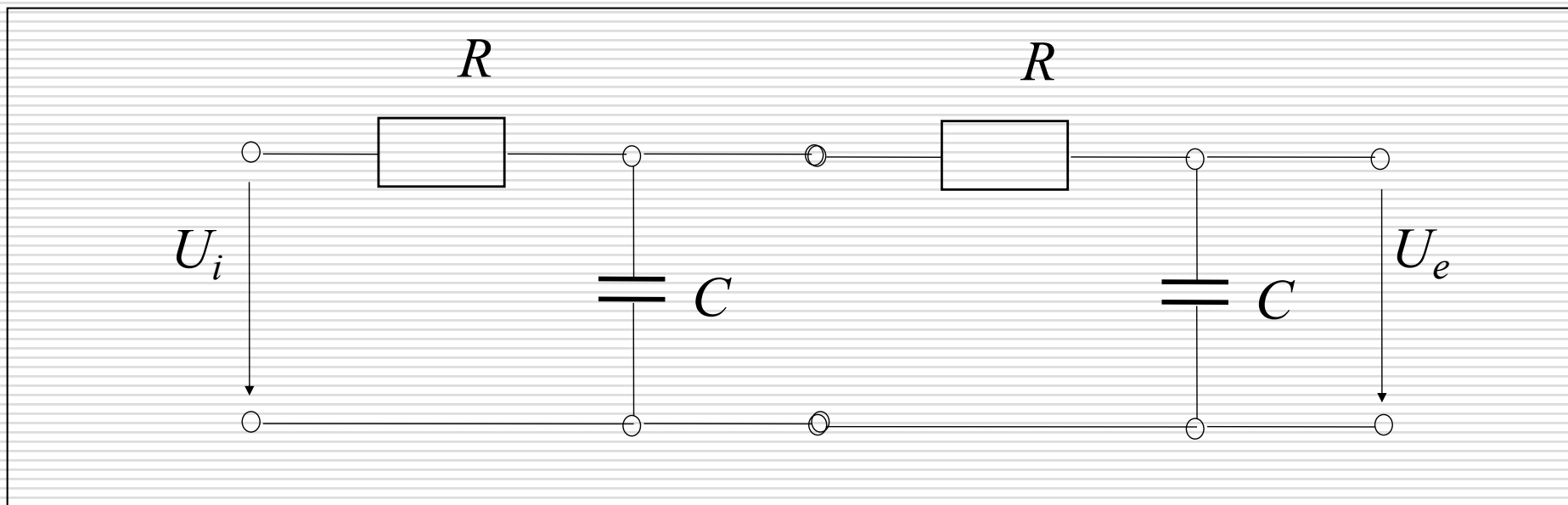


$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$a = \frac{U_i}{U_e} \cong \frac{f}{f_0},$$

$$\text{dacă } f > 3f_0$$

Filtre – legarea în cascadă

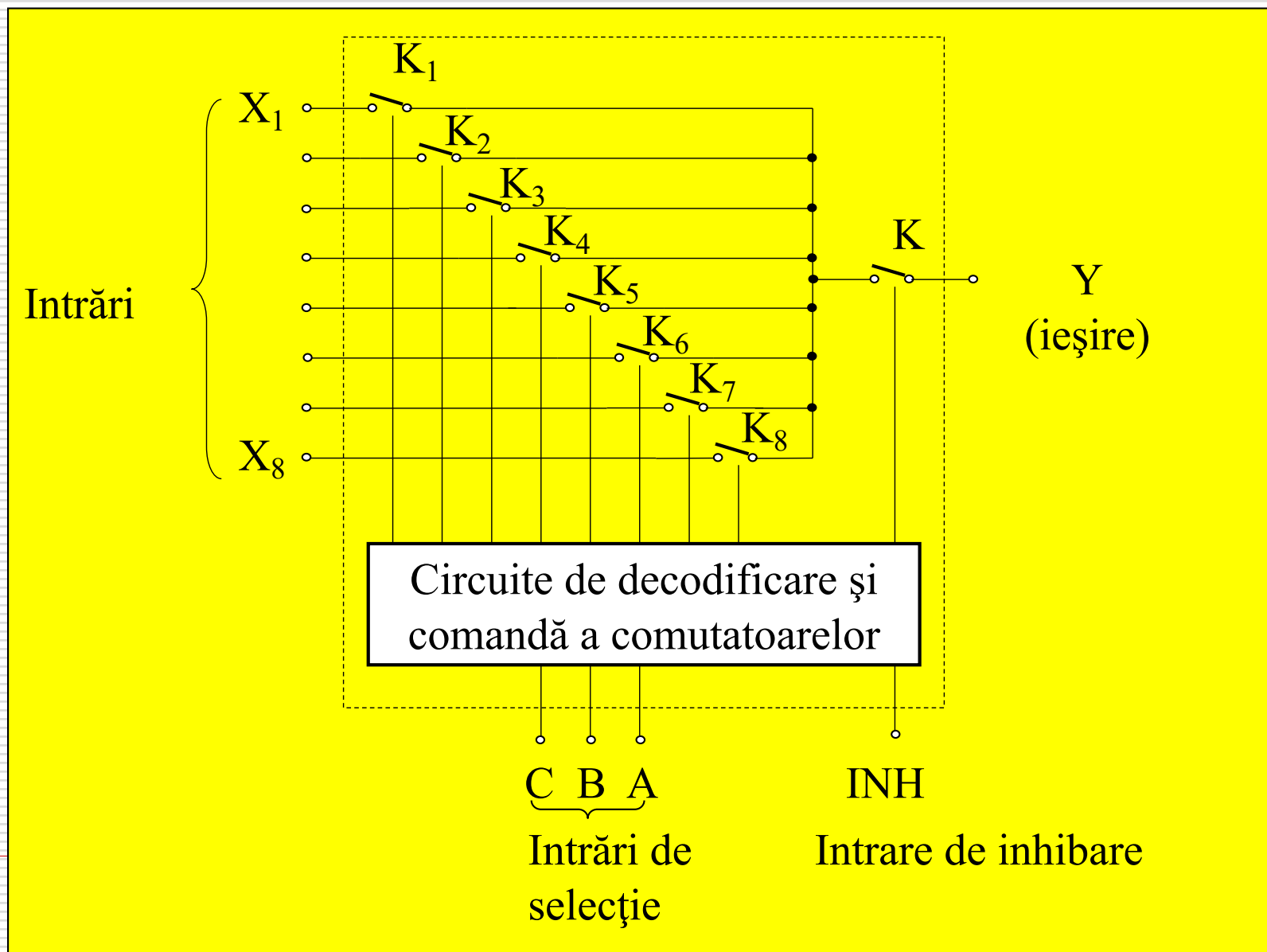


Atenuarea totală este produsul atenuărilor individuale.

Multiplexoare

Un multiplexor este constituit dintr-un ansamblu de comutatoare electronice care, împreună cu circuitele de decodificare și de comandă aferente, permit selectarea la o ieșire comună a unui singur semnal dintre cele aduse la intrările sale.

Multiplexoare





Concluzii

Circuitele electronice – rol important în aparatele electronice de măsurat, asigurând

- ☐ prelucrarea semnalelor
- ☐ interfațarea cu sistemele de calcul
- ☐ îmbunătățirea performanțelor.